

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-334609

(43)Date of publication of application : 17.12.1996

(51)Int.Cl.

G02B 5/18
G01D 5/38

(21)Application number : 07-141532

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 08.06.1995

(72)Inventor : TAKADA KAZUMASA
NISHII KANJI
TAKAMOTO KENJI
ITO MASAYA
FUKUI KOJI

(54) PHASE LATTICE AND ITS MANUFACTURE AND OPTICAL ENCODER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a phase lattice minimized in zero-order diffraction efficiency to natural radiant light beam and a high reliable optical encoder using the phase lattice.

CONSTITUTION: The phase lattice has a depth higher than depth (d') calculated by an equation, $\frac{1}{\lambda} \times (p - d'/e) \times p \times d' = (\lambda/2) \times (1 + 2m)$ (where, $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$), using wave length (λ) of light, pitch length (p) of the phase lattice, refractive index (n) of a base material of the phase lattice, refractive index (n_0) of a medium around the phase lattice and shape ratio (e) of the depth of the phase lattice to the width of an inclined part of the recessed part.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.06.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.10.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3407477

[Date of registration] 14.03.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-22037

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 14.11.2002

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-334609

(43)公開日 平成8年(1996)12月17日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	5/18		G 0 2 B	5/18
G 0 1 D	5/38		G 0 1 D	5/38 A

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 11 頁)

(21)出願番号	特願平7-141532	(71)出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成7年(1995)6月8日	(72)発明者	▲たか▼田 和政 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(72)発明者	西井 完治 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(72)発明者	高本 健治 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
		(74)代理人	弁理士 滝本 智之 (外1名) 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 位相格子とその作製方法並びに光学式エンコーダ

(57)【要約】

【目的】 自然放射光に対して0次回折効率を極小とした位相格子及びこの位相格子を用いた高信頼性の光学式エンコーダを提供する。

【構成】 光の波長 λ 、位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の基材の屈折率 n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率 n_0 、前記凹部の傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比 e を用いて、

$|n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' = (\lambda / 2) \times (1 + 2m)$ (但し、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)
で算出される深さ d' よりも大きな深さの位相格子とする。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 矩形形状の凹部を有する位相格子であって、光の波長 λ 、位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の基材の屈折率 n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率 n_0 、前記凹部の傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比 e を用いて、

$$|n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \quad (\text{但し、} m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

で算出される深さ d' よりも大きな格子深さを具備することを特徴とする位相格子。

【請求項 2】 位相格子を形成する基材に、皮膜を塗布形成する第一工程、その後前記皮膜にパターン形成してマスクを作製する第二工程、その後前記マスクを通して前記基材に、光の波長を λ 、位相格子のピッチ長を p 、該位相格子の基材の屈折率を n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率を n_0 、前記凹部の傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比を e としたとき、

$$|n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \quad (\text{但し、} m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

で算出される深さ d' よりも大きな深さの格子をエッチングにより形成する第三工程を具備する位相格子の作製方法。

【請求項 3】 エッチング時間によりエッチングの深さ d' を制御することを特徴とする請求項 2 記載の位相格子の作製方法。

【請求項 4】 エッチングをエッチング剤を用いて行うと共に、前記エッチング剤の濃度によりエッチングの深さ d' 時間によりエッチングの深さ d' を制御することを特徴とする請求項 2 記載の位相格子の作製方法。

【請求項 5】 エッチングを促進せしめるエネルギーを制御することによりエッチングの深さ d' を制御することを特徴とする請求項 2 記載の位相格子の作製方法。

【請求項 6】 光源と、前記光源から出射される光の光軸に対して略垂直に配置された、請求項 1 記載の位相格子が形成された固定回折板及び移動回折板と、前記固定回折板及び移動回折板を通過した光を受光する光検出器と、前記固定回折板及び移動回折板を通過した ± 1 次の回折光を上記光検出器の光検出部に集光させる集光レン

$$|n - n_0| \times d = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \quad \dots (式 1)$$

(但し、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ である。) の条件を満たせばよい。

【0005】 換言すれば、0 次の回折光強度を極小にする格子深さの条件は、便宜的には回折光の位相の「重心」で計算することができる。理想的な矩形波状を有する位相格子では、図 12 (a) に示すように位相の重心 G 及び G' は矩形波状の表面にあり、位相を進ませる格子の重心 G と位相を遅らせる格子の重心 G' との間の位相差が、光源の中心波長 λ の $1/2$ の奇数倍になると 0 次の回折光強度は極小となる。

【0006】 しかし、エッチング等の通常のプロセスを

ズを備えていることを特徴とする光学式エンコーダ。

【請求項 7】 光源から出射される光が自然放射光であることを特徴とする請求項 6 記載の光学式エンコーダ。

【請求項 8】 光源から出射される光が部分干渉性を有する光であることを特徴とする請求項 6 記載の光学式エンコーダ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、0 次回折効率を抑制するほぼ矩形波状を有した位相格子、及び該位相格子の作製方法、さらに光学式エンコーダに関し、特に移動物体、例えば回転物体に取り付けられた位相格子を有する回折板に干渉性を有する自然放射光束を入射させ、該回折板を通過した回折光を互いに干渉させ、干渉した光の強度を測定することにより、回折板の移動状態例えば回転状態を観測する光学式エンコーダに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、位相格子は主としてコヒーレントな光に対して用いられてきた。 ± 1 次の回折効率が高い位相格子は、例えば光通信の分野において光信号を二分配したり、逆に二つの光信号を一つに結合したりするのに使用できる。この場合、分配あるいは結合の効率は高い方がよいので、 ± 1 次の回折効率はできるだけ大きい方がよく、そのため 0 次の回折効率はできるだけ小さい方がよいことになる。

【0003】 位相格子の回折効率は、コヒーレントな光に対しては解析的な議論が今まで多くなされており、コヒーレントな光に対して回折効率を制御する位相格子の形状等の条件は明らかにされている。

【0004】 例えば、主として ± 1 次の回折光のみを通過させ、0 次の回折効率を抑制する、理想的に矩形波状の断面を有する格子深さ d は、格子の凹部と凸部との段差により波長 λ の $1/2$ の奇数倍の光路長差を生じさせればよいので、光源の中心波長 λ と位相格子を構成する材料の屈折率 n 、位相格子の周囲の屈折率 n_0 を用いて、

経て作製されると、位相格子の断面形状は理想的な矩形波状とはならず、図 8 に示すように、形状比 e が有限値を持つことになる。

【0007】 また、同じくエッチング等の通常のプロセスを経て作製された場合、エッジの曲率は、可視域程度の光の波長に比較して、無視できる程度の大きさにできる。

【0008】 そのため、位相格子の形状パラメタは、格子深さ、形状比、デューティの 3 つとなる。位相格子作製プロセスにおいて、通常、これらのパラメタのうち、格子深さが、最も制御し易い。そのため、0 次回折効率

をできるだけ小さくするために、一般に格子深さが制御される。

【0009】このように、格子深さで0次回折効率が制御されるが、残る2つのパラメタのうち、形状比が格子深さに影響してくる。上述の通り、0次の回折光強度を極小にする格子深さの条件は、回折光の位相の「重心」で計算することができ、図12(b)に示すように、形状比が有限値となるほぼ矩形波状を有する位相格子で

$$\begin{aligned} & |n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' \\ & = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \end{aligned} \quad \dots (式2)$$

を満たすことになる。但し、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ であり、 p は位相格子の1ピッチの長さである。

【0011】そのため、図12(b)に示すような位相格子では、0次の回折光率を極小にする格子深さは、理想的な矩形波状を有する位相格子よりも深くする必要がある、形状比の値が小さい位相格子ほど格子深さを深くせねばならないことになる。

【0012】この様子を図9に示す。図9は、空気中における1ピッチの長さ24 μm の石英製位相格子に対してデューティを一定($f = 0.5$)にして形状比 e を変化させたときの、格子深さと0次回折効率との関係を示したものである。横軸は、式1において $m = 0$ において算出される格子深さ d からのずれ量を表わし、縦軸は1次回折効率に対する0次回折効率の割合を示す。

【0013】形状比が無量大、すなわち理想的な矩形波状の断面を有する位相格子は、式1において $m = 0$ において算出される格子深さ d のときに、0次回折効率が極小となるのに対し、形状比が有限値を持ち、その値が小さくなるほど、0次回折効率が極小となる格子深さはより深くなるのが分かる。

【0014】エッチング等の通常のプロセスを経て作製される位相格子の断面形状は理想的な矩形波状からずれるため、0次回折効率を極小にする格子深さは、式1において $m = 0$ において算出される値よりも大きい値をとることになる。

【0015】この値を d' とすれば、 d' は式2から算出される。なお、デューティが変化した場合には、図12において重心 G の高さの変化と重心 G' の高さの変化は相殺されるため、0次回折光率を極小にする格子深さには影響しない。

【0016】このことは、式2から明らかであるが、図10にこの様子を示しておく。位相格子の形状比を一定($e = 1.2$)にしてデューティを変化させたときの、格子深さと0次回折効率との関係を示したものである。縦横軸は、図9と同じである。デューティは0次回折格子を極小にする深さには影響しないことが分かる。

【0017】以上のことから、ほぼ矩形波状を有する位相格子について、0次回折効率を極小にする深さ d' は、光源の中心波長 λ と位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の位相格子を構成する材料の屈折率 n 、位相格子の

は、位相の重心は格子の表面ではなく内部に存在することになる。

【0010】0次の回折光強度を極小とするためには、位相を進ませる格子の重心 G の高さと位相を遅らせる格子の重心 G' の高さとの和が光源の中心波長 λ の1/2の奇数倍であればよいので、0次の回折光強度を極小とするほぼ矩形波状を有する位相格子の格子深さ d' は、

周囲の屈折率 n_0 、および位相格子の形状比 e とによって算出されることがわかる。レーザ光等の、干渉性の良い誘導放射光を光源とする場合には、位相格子の格子深さを上記の算出値にすれば、0次回折効率を極小に抑えることができることはよく知られている。

【0018】以上のように、コヒーレントな光に対して回折効率を制御する位相格子の形状等の条件は明らかにされている。

【0019】しかし、コヒーレントな光を光源にしようとするれば誘導放射光を出射する半導体レーザ等を光源にする必要がある、半導体レーザ等の誘導放射光を出射する光源は寿命等の信頼性がLED等の自然放射光を出射する光源と比較して大きく劣るため、光源の高信頼性化などのためにはLED等の自然放射光を出射する光源の使用が望まれる。このような、コヒーレントな光以外の光を光源とする場合でも、コヒーレントな光に対して回折効率を制御する位相格子の形状条件が用いられている。

【0020】また、位相格子の作製方法として、前述のように、エッチングなど様々な方法が提案され実用化されている。しかし、それらはコヒーレントな光に対して回折効率を制御するような位相格子の作製方法であって、コヒーレントな光以外の光に対して回折効率を制御するような位相格子の作製方法についてはあまり議論がなされていない。

【0021】また、機械装置において位置決めをする際には光学式のエンコーダが広く利用されている。この光電式エンコーダは、固定ディスク及び該回転ディスクと所定の間隔をおいて設けられた固定マスクにそれぞれスリットを設け、両スリットを通過した光を光検出器により電気信号に変えて出力することによって、直線的な長さや回転角を測定するものである。この光電式エンコーダにおいては、スリットのピッチを細かくすることにより、検出精度を高めることができる。

【0022】ところが、この光電式エンコーダによると、回転ディスク及び固定マスクに設けられたスリットのピッチをあまり細かくすると、回折光の影響により光検出器からの出力信号の信号対雑音の比であるS/N比が低下し、検出精度が低下するという問題があった。

【0023】また、光検出器からの出力信号が回折光の

影響を受けない程度にまでスリットの間隔を拡大しようとする、回転ディスクの径が大きくならざるを得ず、そのために装置全体が大型化するので、回転ディスクを回転駆動させる駆動体への負荷が大きくなる等の問題点があった。

【0024】一方、光学式エンコーダとしては、位相格子を通過した回折光を用いる干渉縞検出方式のエンコーダも知られている。この干渉縞検出方式のエンコーダは、光軸に対して略垂直に配設された固定回折板及び移動回折板を通過した光の回折及び干渉によって生じる干渉縞を光検出器により電気信号に変えて取り出すものである。

【0025】ところが、この干渉縞検出式エンコーダにおいては、移動回折板及び固定回折板から複数の次数の回折光が射出するため、測定に必要な特定次数の回折光の強度が低下し、検出感度が低下するという問題があった。

【0026】そこで、主として ± 1 次の回折光のみを通過させる位相格子を有する移動回折板及び固定回折板を用いて ± 1 次の回折光を干渉させることにより、高い光利用効率を実現すべく、本件の図7に示すような光学式エンコーダが提案されている。

【0027】すなわち、コヒーレントな光を射出する光源31と、該光源から射出された光の光軸に対して略垂直で且つ互いに平行に設けられており主として ± 1 次の回折光のみを通過させる位相格子を有する固定回折板33B及び移動回折板34Bと、該固定回折板及び移動回折板を通過した光を受光する光検出器37と、上記固定回折板及び移動回折板を通過した ± 1 次の回折光を上記光検出器の光検出部に集光させるレンズ35とを備えているものである。

【0028】光源31から射出された光はコリメートレンズ32により平行光にされた後、固定回折板33Bに、該固定回折板33Bに対して略垂直の方向から入射される。固定回折板33Bに入射した光は、該固定板33Bによって回折され、0次の回折光40、 $+1$ 次の回折光41、 -1 次の回折光42、……として射出される。

【0029】これらの回折光40、41、42は、移動回折板34Bに入射した後、さらに回折光として射出される。この移動回折板34Bから射出された回折光を (n, m) （但し、 n は固定回折板33Bによる回折次数、 m は移動格子板34Bによる回折次数をそれぞれ示す。）として表すと、移動回折板34Bを通過する回折光としては、 $(0, 0)$ の回折光50、 $(+1, -1)$ の回折光51、 $(-1, +1)$ の回折光52、 $(-2, +2)$ の回折光、 $(+2, -2)$ の回折光、……、がある。

【0030】移動回折板34Bを光軸に対して垂直方向（図7における上下方向）に一定速度で移動させると、

移動に伴って0次よりも高次の回折光の位相は0次の回折光の位相に対して変化する、例えば $(+1, -1)$ の回折光51と $(-1, +1)$ の回折光52とが干渉して得られる干渉波の光強度は正弦波状に変化する。

【0031】同様に、 $(+1, -1)$ の回折光51と $(0, 0)$ の回折光50との干渉波、あるいは $(-1, +1)$ の回折光52と $(0, 0)$ の回折光50との干渉波の光強度も移動回折板34Bの移動に伴って周期的に変化する。

【0032】さて、 $(0, 0)$ の回折光50は、 $(+1, -1)$ の回折光51或いは $(-1, +1)$ の回折光52と干渉し、固定回折板33B及び移動回折板34Bのほぼ矩形波状の山と谷とが互いに一致したときに光強度が最大となり且つほぼ矩形波状の山と谷とが半周期 $p/2$ だけ互いにずれたときに光強度が最小となるような正弦波形である基本波（図6（b）を参照）の出力が得られる。

【0033】一方、 $(+1, -1)$ の回折光51と $(-1, +1)$ の回折光52とは互いに干渉し、上記基本波に対して2倍の周波数を有する正弦波よりなる2倍周波（図6（b）を参照）の出力が得られる。尚、図7において、53は $(0, +1)$ の回折光を、54は $(+1, +1)$ の回折光をそれぞれ示している。

【0034】光検出器36の光電変換信号出力は、誇張して示すと、図6（a）のように歪んだ波形として得られることになる。この歪んだ波形は、図6（b）に示すように、基本波の成分、2倍周波の成分等に分解して考えることができる。

【0035】そのため、上記位相格子を通過する光のうち、0次の回折光の割合が多いほど、0次の回折光と ± 1 次の回折光の干渉のため、上記光検出器の出力信号に生ずる歪が大きくなる。従って、光検出器の出力信号の歪を抑えるためには、0次の回折光強度をできるだけ小さくする必要がある。

【0036】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、位相格子の回折効率を制御する位相格子の形状等の条件はコヒーレントな光に対して明らかにされているだけである。コヒーレントな光を光源にしようとするれば誘導放射光を射出する半導体レーザ等を光源にする必要があり、半導体レーザ等の誘導放射光を射出する光源は寿命等の信頼性がLED等の自然放射光を射出する光源と比較して大きく劣るため、光源の高信頼性化などのためにはLED等の自然放射光を射出する光源の使用が望まれるが、このような、コヒーレントな光以外の光を光源とする場合でも、コヒーレントな光に対して回折効率を制御する位相格子の形状条件が用いられている。

【0037】しかし、この条件はコヒーレントな光以外の光を光源とする場合には成り立たない場合があることを本発明の発明者が見出した。ほぼ矩形波状を有する位

相格子は、コヒーレント光に対して0次の回折効率を極小にする位相格子の形状条件では、自然放射光を光源とする場合には0次の回折効率が極小にならないということである。

【0038】また、位相格子の作製方法として様々な方法が提案され実用化されているが、それらはコヒーレントな光に対して回折効率等を制御するような位相格子の作製方法であって、コヒーレントな光以外の光に対して回折効率等を制御するような位相格子の作製方法は確立されていない。

【0039】さらに、上記のような光学式エンコーダは、コヒーレントな光を光源としているため、誘導放射光を出射する半導体レーザ等を光源にする必要があるが、半導体レーザ等の誘導放射光を出射する光源は、寿命等の信頼性が、LED等の自然放射光を出射する光源と比較して大きく劣る。そこで、図7に示すような光学式エンコーダの光源として、LED光等の干渉性を有する自然放射光を用いる。

【0040】しかし、ほぼ矩形波状を有する位相格子は、上記の条件の形状では、自然放射光を光源とする場合に、±1次の回折光と干渉することによって光検出器の出力信号に歪を生じさせる0次の回折効率が極小にならないということを、本願発明者が見出した。

【0041】本発明は上記問題点に鑑み、第一にLED等の自然放射光を出射する光源を用いる場合に0次回折効率を抑制した位相格子を提供し、第二にLED等の自然放射光を出射する光源を用いる場合に0次回折効率を抑制した位相格子の作製方法を提供し、第三にLED等の自然放射光を出射する光源と該位相格子を有する回折板とを用いることによって検出信号の歪を抑えた信頼性の高い光学式エンコーダを提供することを目的とする。

【0042】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するため、請求項1記載の発明は、矩形形状の凹部を有する位相格子であって、光の波長 λ 、位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の基材の屈折率 n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率 n_0 、前記凹部の傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比 e を用いて、

$$|n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \quad (\text{但し、} m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

で算出される深さ d' よりも大きな格子深さを具備することを特徴とする位相格子である。

【0043】請求項2記載の発明は、位相格子を形成する基材に、皮膜を塗布形成する第一工程、その後に前記皮膜にパターン形成してマスクを作製する第二工程、その後に前記マスクを通して前記基材に、光の波長を λ 、位相格子のピッチ長を p 、該位相格子の基材の屈折率を n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率を n_0 、前記凹部の傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比を e としたとき、

$$|n - n_0| \times (p - d' / e) / p \times d' = (\lambda / 2) \times (1 + 2m) \quad (\text{但し、} m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

で算出される深さ d' よりも大きな深さの格子をエッチングにより形成する第三工程を具備する位相格子の作製方法である。

【0044】請求項6記載の発明は、光源と、前記光源から出射される光の光軸に対して略垂直に配置された、請求項1記載の位相格子が形成された固定回折板及び移動回折板と、前記固定回折板及び移動回折板を通過した光を受光する光検出器と、前記固定回折板及び移動回折板を通過した±1次の回折光を上記光検出器の光検出部に集光させる集光レンズを備えていることを特徴とする光学式エンコーダである。

【0045】

【作用】請求項1記載の構成によれば、LED等の、自然放射光を出射する光源を用いる場合に、0次回折効率を極小に抑える位相格子を得ることができる。

【0046】その作用についての完全な説明は未だであり、本発明の発明者が現段階で考え得る作用を記す。現象は、光源として自然放射光を用いるか、あるいは誘導放射光を用いるかにより、0次回折効率を極小にする格子深さに差異が生じることである。自然放射光と誘導放射光の大きな違いは、干渉性の程度である。後者は、完全干渉性を有するのに対し、前者は部分干渉性を有する。この干渉性の差異が、0次回折効率を極小にする格子深さの差異に表れると考えられる。

【0047】請求項2記載の構成によれば、格子深さを、光の波長と位相格子のピッチ長、該位相格子の基材の屈折率、該位相格子の周囲の媒質の屈折率、及びエッチング等の通常のプロセスを経て作製される場合には必然的に形成される凹部と凸部との境界である傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比とから、0次回折効率を極小にするための公知の数式を用いて算出される格子深さよりも大きな値にすることができ、自然放射光を光源とした場合の0次回折効率を極小に抑える位相格子を得ることができる。

【0048】請求項6記載の構成によれば、信頼性の高いLED等の自然放射光を出射する光源を使用し、さらに、光の波長と位相格子のピッチ長、該位相格子の基材の屈折率、該位相格子の周囲の媒質の屈折率、及びエッチング等の通常のプロセスを経て作製される場合には必然的に形成される凹部と凸部との境界である傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比とから、0次回折効率を極小にするための公知の数式を用いて算出される格子深さよりも大きな格子深さを有するほぼ矩形波状を有した位相格子を使用することにより、±1次の回折光と干渉することによって光検出器の出力信号に歪を生じさせる0次の回折光強度を小さくできるため、検出信号の歪を抑えた信頼性の高い光学式エンコーダを得ることができる。

【0049】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

【0050】前述の通り、0次回折効率を極小にする格子深さは、光源の中心波長 λ と位相格子を構成する材料の屈折率 n 、位相格子の周囲の屈折率 n_0 、位相格子のピッチ p 、および位相格子の形状比 e とによって算出される。この算出値を d' とすると、 d' は式2から求まり、図9に示すように、 e とによって変化する。

【0051】図1は本発明の実施例に係るSiO₂製位相格子の断面形状を示すものである。図1において、格子深さ d'' は、

$$d'' = d' \times (1 + \Delta d') \quad \dots (式3)$$

であって、上記の0次回折効率を極小にする格子深さの算出値 d' よりも、 $\Delta d'$ の割合だけ大きい値である。

【0052】ピッチ長 $24\mu\text{m}$ の様々な格子深さ d'' (650~800nm程度)を有する位相格子を作製し、複数の種類の光源を用いて回折効率の測定を行った。

【0053】図11は、ほぼ矩形波状を有する位相格子の作製方法の一実施例を示すものであり、フォトリソと呼ばれる公知の加工方法である。

【0054】まず、位相格子の形状を作製しようとする基材である基板60の表面にフォトリソ61を一樣に塗布し、別途作製した原版であるフォトリソマスク62を通してフォトリソを露光する。フォトリソの感光部分を現像液に可溶にし(或は、逆に、感光部分を現像液に不溶にする場合もある)、感光部分を現像液によって除去してフォトリソのパターン63を形成する。

【0055】その後、通常のドライエッチング装置(図

$$\begin{aligned} d' &= d \times (1 + \Delta d) \\ &= d \times (1 + 0.02) \\ &= (\lambda/2) / |n - n_0| \times (1.02) \quad \dots (式4) \end{aligned}$$

の関係を満たすことになる。

【0063】まず、光源として、誘導放射光であるHe-Neレーザ光を用い、作製したそれぞれの位相格子の回折効率を測定した。

【0064】その結果を図2に示す。縦軸は1次回折効率に対する0次回折効率を、横軸は式1において $m=0$ とにおいて得られる値 d からの格子深さのずれの割合 Δd を表わす。なお、He-Neレーザ光の波長 λ は633nmで、この波長における位相格子材料の屈折率 n は1.457である。

【0065】図2の結果から、 Δd が2%程度である位相格子、すなわち、格子深さ d'' が式4の d' である位相格子が0次回折効率を極小にすることが分かる。

【0066】このように、誘導放射光を光源とする場合には、格子深さを、光源の中心波長 λ と位相格子を構成する材料の屈折率 n 、位相格子の周囲の屈折率 n_0 、お

示省略)を用いてエッチングガス64により主としてフォトリソのない部分を化学的に除去する。

【0056】格子深さは、エッチングレートとエッチング時間との積によって決まるので、格子深さを制御する手段としては、エッチングガスの種類、或は、エッチングガスと基板との間の反応を促進または抑制させるべく与えている熱量や交流電力等のエネルギーの大きさを変化させることによってエッチングレートを制御する方法と、エッチング時間を制御する方法が選択できる。今回作製した位相格子の格子深さは、エッチング時間によって制御した。

【0057】この後、残ったフォトリソを除去することにより位相格子の形状が作製できる。

【0058】位相格子の格子深さの測定は触針式深さ計によって行った。深さの測定誤差は5nm程度である。

【0059】また、位相格子の形状比はSEM及び光学顕微鏡により測定した。位相格子の形状比はエッチング時間ではほとんど変化せず、エッチングガスの種類によってほぼ決まることが知られている。

【0060】今回の作製に用いたCHF₃ガスでは、どの格子深さを有する位相格子も形状比は1.1~1.5程度、角度で表わすと48~56°程度であった。

【0061】そのため、図9の結果における形状比1.2の曲線から(形状比1.1と1.5の位相格子における0次回折効率極小の Δd の値は形状比1.2の場合と比較して0.1%程度の差を有するに過ぎず、無視できる大きさであるため形状比1.2の曲線で代表させた。)、0次回折効率を極小にする格子深さ d' は、式1において $m=0$ とにおいて得られる値 d よりも2%程度大きい値をとることになる。

【0062】つまり、

および位相格子の形状比 e とによって算出される値にすれば、0次回折効率を極小にすることができる。

【0067】次に、光源として、自然放射光であるLED光を用いて、作製したそれぞれの位相格子の回折効率を測定した結果を図3に示す。縦軸は1次回折効率に対する0次回折効率を、横軸は式1において $m=0$ とにおいて得られる値 d からの格子深さのずれの割合 Δd を表わす。なお、使用したLEDは3種類であり、中心波長 λ はそれぞれ568、614、660nm、波長分布はどれも20nm程度の半値幅を有する略ガウシアン分布である。

【0068】各々の中心波長に対する位相格子材料の屈折率 n は、それぞれ1.459、1.457、1.456であり、図3中の○は中心波長568nmのLED光を、◎は中心波長614nmのLED光を、●は中心波長660nmのLED光を使用した場合の回折効率を表

わす。

【0069】図3の結果から、 Δd が5~7%程度である位相格子すなわち格子深さ d'' が d' よりもさらに3~5%大きい値である位相格子が、0次回折効率を極小にすることが分かる。

【0070】このように、自然放射光を光源とする場合には、格子深さを、光源の中心波長 λ と位相格子を構成する材料の屈折率 n 、位相格子のピッチ長 p 、位相格子の周囲の屈折率 n_0 、および位相格子の形状比 e とによって算出される値よりも3~5%大きい値にすれば、0次回折効率を極小にすることができる。

【0071】以上のように、光源として自然放射光を使う場合には、1.0~1.4の形状比を有する位相格子に対して、格子深さを算出値より3~5%大きくすることで0次回折効率を極小にすることができる。

【0072】図4は本実施例に係る光学式エンコーダの概略構成を示しており、1はLED等の、干渉性を有する自然放射光を出射する光源、2は光源1から出射された光を平行光にするコリメートレンズ、3Aはほぼ矩形波状断面の位相格子を有し光軸に対して垂直に配置された固定回折板、4Aはほぼ矩形波状断面の位相格子を有し光軸に対して垂直に配置され且つ垂直方向に移動可能な移動回折板であって、固定回折板3Aの位相格子と移動格子板4Aの位相格子とは互いに同じ周期を有している。

【0073】また、同図において、5は移動回折板4Aを通過した光を集光する集光レンズ、6は集光レンズ5により集光され光検出部7において結像した回折像を電気信号に変えて出力する光検出器、8は周波数弁別フィルターである。

【0074】本実施例に係る光学式エンコーダにおいては、光源1から出射された光はコリメートレンズ2により平行光にされた後、固定回折板3Aに、該固定回折板3Aに対して略垂直の方向から入射される。

【0075】固定回折板3Aに入射した光は、該固定板3Aによって回折され、0次の回折光10、+1次の回折光11、-1次の回折光12、……として出射される。

【0076】これらの回折光10、11、12は、移動回折板4Aに入射した後、さらに回折光として出射される。

【0077】この移動回折板4Aから出射された回折光を (n, m) （但し、 n は固定回折板3Aによる回折次数、 m は移動格子板4Aによる回折次数をそれぞれ示す。）として表すと、移動回折板4Aを通過する回折光としては、図5に示すように、 $(0, 0)$ の回折光20、 $(+1, -1)$ の回折光21、 $(-1, +1)$ の回折光22、 $(-2, +2)$ の回折光、 $(+2, -2)$ の回折光、……がある。ただし、図4においては、図示の都合上、 $(-2, +2)$ の回折光、 $(+2, -2)$ の

回折光及び2次の回折光よりも高次の回折光は省略している。

【0078】移動回折板4Aを光軸に対して垂直方向（図4における上下方向）に一定速度で移動させると、移動に伴って0次よりも高次の回折光の位相は0次の回折光の位相に対して変化するので、例えば $(+1, -1)$ の回折光21と $(-1, +1)$ の回折光22とが干渉して得られる干渉波の光強度は正弦波状に変化する。

【0079】同様に、 $(+1, -1)$ の回折光21と $(0, 0)$ の回折光20との干渉波、あるいは $(-1, +1)$ の回折光22と $(0, 0)$ の回折光20との干渉波の光強度も移動回折板4Aの移動に伴って周期的に変化する。

【0080】 $(0, 0)$ の回折光20は、 $(+1, -1)$ の回折光21或いは $(-1, +1)$ の回折光22と干渉し、固定回折板3A及び移動回折板4Aのほぼ矩形波状の山と谷とが互いに一致したときに光強度が最大となり且つほぼ矩形波状の山と谷とが半周期 $p/2$ だけ互いにずれたときに光強度が最小となるような正弦波形である基本波（図6（b）を参照）の出力が得られる。

【0081】一方、 $(+1, -1)$ の回折光21と $(-1, +1)$ の回折光22とは互いに干渉し、上記基本波に対して2倍の周波数を有する正弦波よりなる2倍周波（図6（b）を参照）の出力が得られる。

【0082】尚、図4において、23は $(0, +1)$ の回折光を、24は $(+1, +1)$ の回折光をそれぞれ示している。第1実施例の光検出器6の光電変換信号出力は、誇張して示すと、図6（a）のように歪んだ波形として得られることになる。この歪んだ波形は、図6

（b）に示すように、基本波の成分、2倍周波の成分等に分解して考えることができるが、算出値よりも大きな格子深さを与えた位相格子を有する固定板および位相板を使用しており、両回折板の0次回折光は抑制されているので、 $(0, 0)$ の回折光20は微弱である。そのため、2倍周波の成分の検出は充分に可能となり、高い精度で検出できることとなる。

【0083】

【発明の効果】請求項1記載の位相格子によると、光の波長 λ と位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の屈折率 n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率 n_0 、及びエッチング等の通常のプロセスを経て作製される場合には必然的に形成される凹部と凸部との境界である傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比 e とから、0次回折効率を極小にするための公知の数式を用いて算出される格子深さよりも大きな格子深さを与えることにより、自然放射光を光源とした場合の0次回折効率を抑制することができる。

【0084】請求項2~4記載の位相格子作製方法によると、自然放射光を光源とした場合に0次回折効率を抑制するほぼ矩形波状を有する位相格子に必要な格子深さ

の条件である、光の波長 λ と位相格子のピッチ長 p 、該位相格子の屈折率 n 、該位相格子の周囲の媒質の屈折率 n_0 、及びエッチング等の通常のプロセスを経て作製される場合には必然的に形成される凹部と凸部との境界である傾斜部の幅に対する格子深さの比である形状比 e とから、0次回折効率を極小にするための公知の数式を用いて算出される格子深さよりも大きな値の格子深さを有する条件を与えることができる。

【0085】請求項5、6記載の光学式エンコーダによると、自然放射光を光源に用いるため、寿命等の信頼性を高めることができ、また、自然放射光を光源とする場合に、 ± 1 次の回折光と干渉することによって光検出器の出力信号に歪を生じさせる0次の回折効率を極小にするほぼ矩形波状を有する位相格子を有した移動回折板および固定回折板を用いるため、歪の少ない検出信号を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係る位相格子の断面図

【図2】同実施例における、誘導放射光に対する0次回折効率の測定結果図

【図3】同実施例における、自然放射光に対する0次回折効率の測定結果図

【図4】同実施例の位相格子を用いた光学式エンコーダの概略構成図

【図5】図4の光学式エンコーダの要部の概略構成図

【図6】図4の光学式エンコーダにおける出力信号波形図

【図7】従来例の光学式エンコーダの概略構成図

【図8】通常の位相格子の断面図

【図9】位相格子の回折効率と格子深さの関係の、形状比依存性を示す図

【図10】位相格子の回折効率と格子深さの関係の、デューティ依存性を示す図

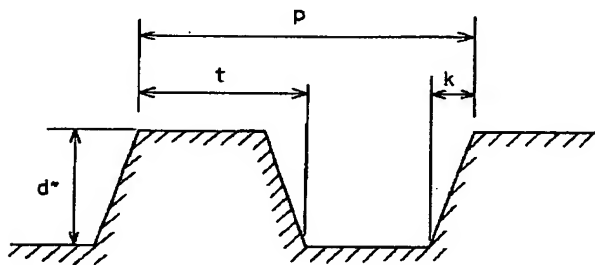
【図11】位相格子の作製方法のフォトリソグラフィのプロセス図

【図12】格子形状と重心との関係図

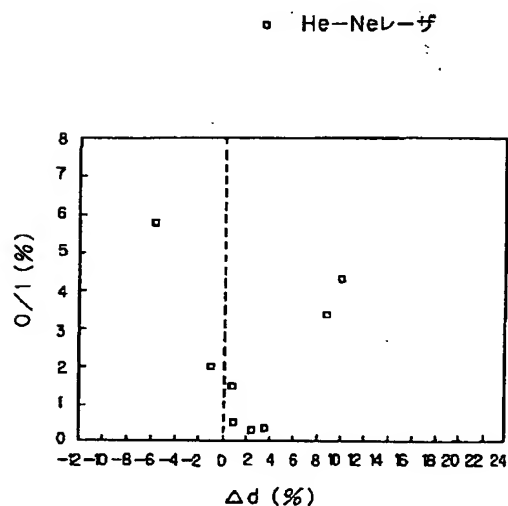
【符号の説明】

- 1、31 自然放射光を出射する光源
- 2、32 コリメートレンズ
- 3A、33B 固定格子板
- 4A、34B 移動格子板
- 5、35 集光レンズ
- 6、36 光検出器
- 7、37 光検出部
- 8、38 周波数弁別フィルター
- 60 基板
- 61 フォトレジスト
- 62 フォトマスク
- d 、 d'' 格子深さ
- p 1ピッチの長さ
- t 1ピッチのうちで凸部を構成する長さ
- k 傾斜部分の長さ
- e 形状比 (a/d)
- f デューティ (c/b)

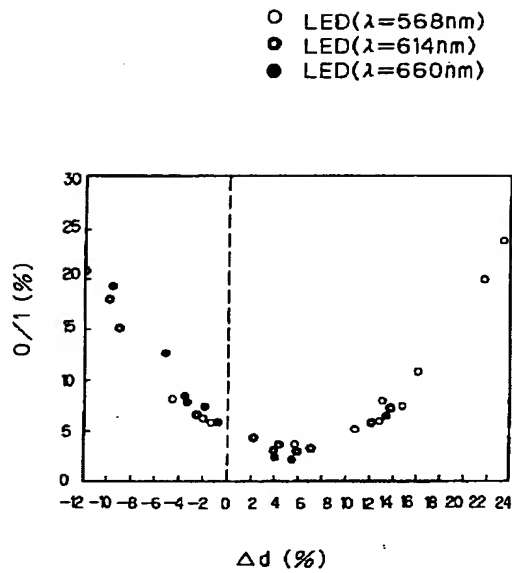
【図1】



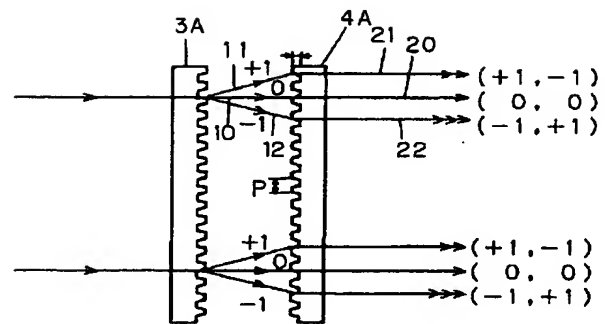
【図2】



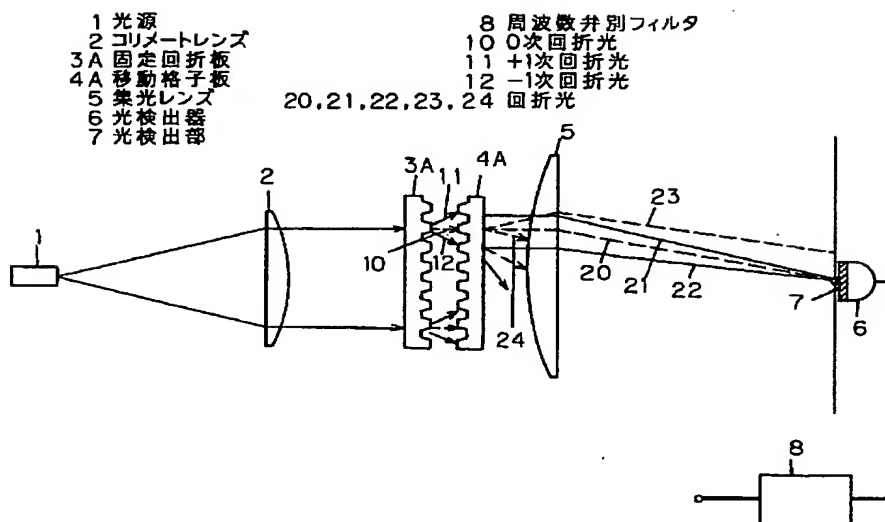
【図3】



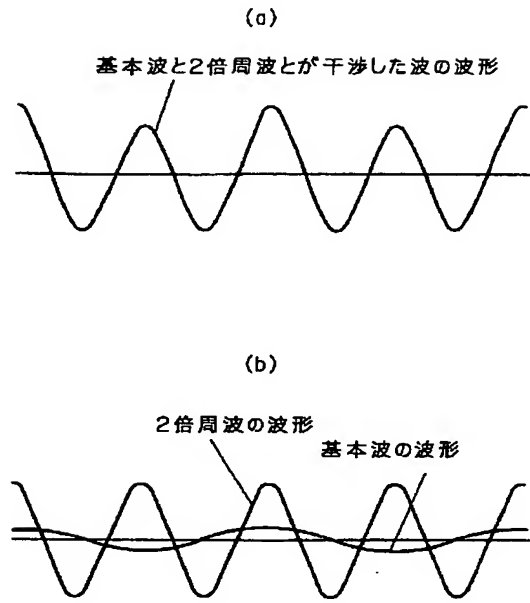
【図5】



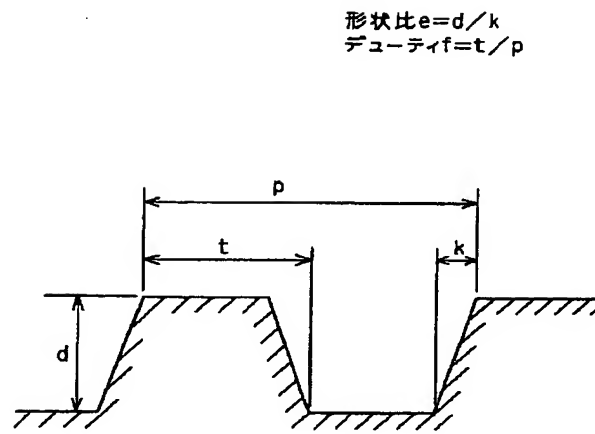
【図4】



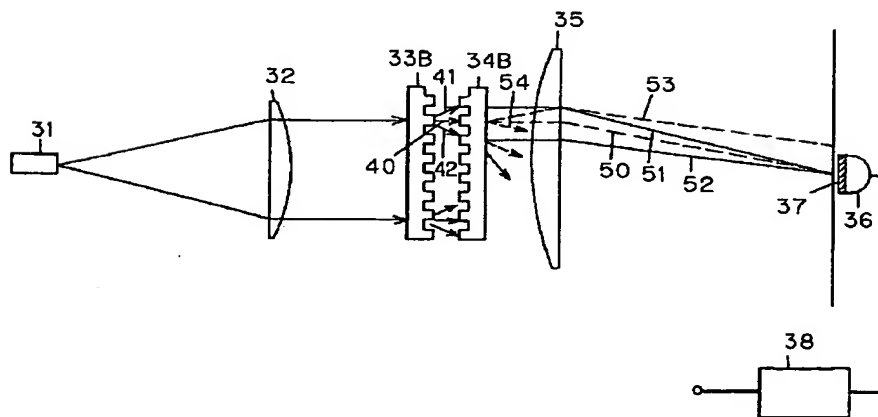
【図6】



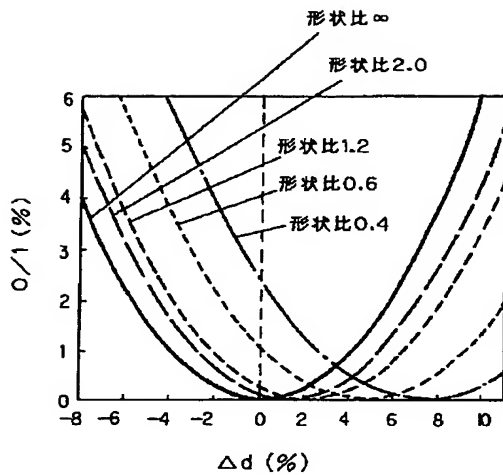
【図8】



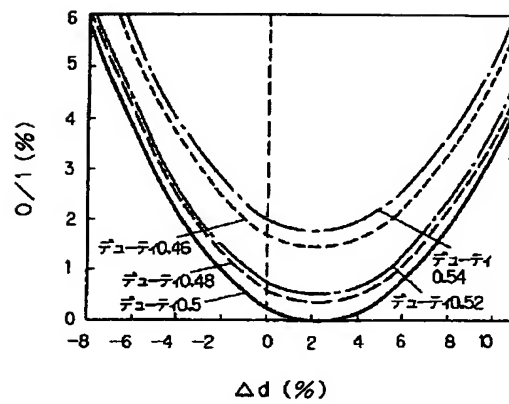
【図7】



【図9】

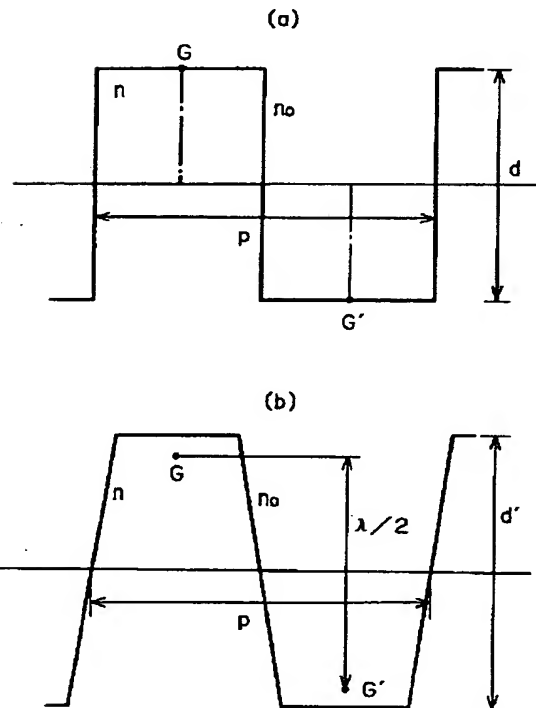
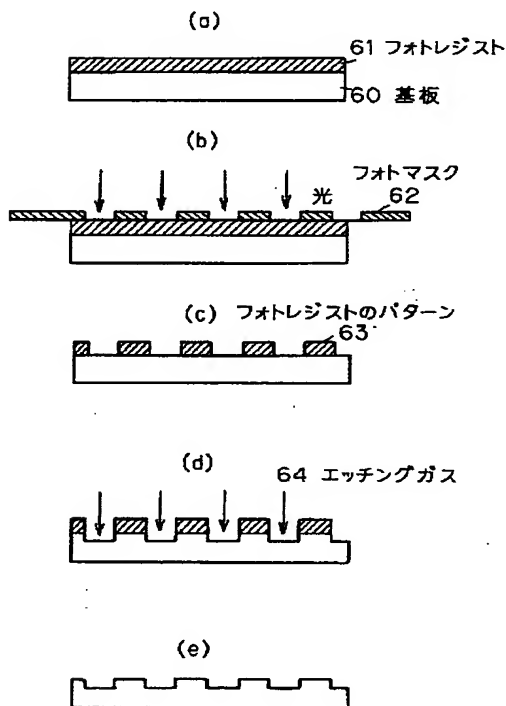


【図10】



【図12】

【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 正弥
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 福井 厚司
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)